Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 5, Nov.-Dec. 2020, p. 1003-1018

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۹، ص. ۱۰۱۸-۱۰۰۳

مقاله علمی-پژوهشی

پیامد بایوچار و باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم* بر عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری آب در برنج رقم طارم هاشمی در دو رژیم آبیاری غرقابی و تناوبی

محمد کاوه[1]- محمد علی اسماعیلی[2]*- همت اله پیردشتی[3]- محمدرضا اردکانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

چکیده

به منظور بررسی پیامد بایوچار به همراه کود نیتروژن، باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم* و روش‌های مدیریت آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری آب در زراعت برنج، پژوهشی در دو سال زراعی ۱۳۹۶و ۹۷ در مزرعه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. عامل اصلی، شیوه آبیاری در دو سطح آبیاری غرقاب و آبیاری تناوبی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیتروژن به همراه ۲۰، ۱۰ و صفر تن بایوچار در هکتار و عامل فرعی- فرعی جدایه خالص باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم* در دو سطح بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی نشا در ۳ تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تیمارهای کودی بایوچار + نیتروژن، باکتری و شیوه آبیاری بر عملکرد شلتوک، میزان مصرف آب و شاخص‌های بهره وری آب اثر معنی‌داری داشت. در بررسی برهم‌کنش فاکتورها مشخص گردید که تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن به‌همراه ۲۰ تن بیوچار در آبیاری غرقاب با باکتری و در آبیاری تناوبی بدون مصرف باکتری موجب بدست آوردن بیشترین میزان عملکرد شلتوک و شاخص‌های CPD و BPD با اختلاف معنی داری شده و در شاخص NBPD در حالت غرقاب بیشترین میزان مربوط به ۷۵ درصد نیتروژن و ۲۰ تن بایوچار ، به‌همراه باکتری و در آبیاری تناوبی مربوط به ۵۰ درصد نیتروژن به‌همراه ۲۰ تن بیوچار و بدون باکتری بوده است، که البته میزان این تاثیر گذاری در آبیاری تناوبی به مراتب چشم‌گیر تر بود. گمان می‌رود می‌توان با اعمال ترکیب کودی ۷۵ درصد نیتروژن به‌همراه ۲۰ تن بیوچار در آبیاری تناوبی، کاهش عملکرد حاصل از کم شدن مصرف آب را تا حد زیادی جبران نمود.

واژه‌های کلیدی: *آزوسپریلیوم لیپوفروم*، بایوچار، برنج، شاخص بهره‌وری آب

مقدمه

کشاورزی به عنوان یکی از بخش‌های حیاتی نقش بسیار حساسی در برنامه های توسعه اقتصادی و اجتماعی دارد. در این میان کشت برنج دارای ارزش و اهمیت ویژه ای بوده و پس از گندم، غذای اصلی مردم جهان را تشکیل می‌دهد (۳۱ و ۳۲). روند تغییرات سطح زیرکشت آبی در جهان نشان می‌دهد که برخلاف گذشته سرعت افزایش این روش کاشت سال به سال رو به کاهش است، زیرا زمین مناسب کشت آبی که دارای آب کافی و مناسب باشد، تقریباً نایاب گردیده است (۹). بخش کشاورزی، بیش ترین مصرف کننده منابع آب کشور است و ارقامی که در گزارش‌های گوناگون در این زمینه ارائه شده، نشان از این دارد که بیش از ۳۱ درصد از حجم آبی که در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای تولید در کشاورزی است و بیشترین حجم هدررفت آب نیز مربوط به همین بخش است (۳). به طوری‌که ۶۲ درصد آن به علت شیوه‌های نادرست آبیاری هدر می‌رود (۲۴). بنابراین برای رفع مشکل کنونی، چاره‌ای جز افزایش بهره‌وری و همچنین استفاده بهینه از آب وجود ندارد.

بومان و همکاران (۱۰) گزارش کردند برنج بیشترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی دارا بوده و حدود ۸۰ درصد کل منابع آب شیرین مصرفی آسیا را شامل می شود. عربزاده (۴) گزارش کرد که یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات در آبیاری در بخش

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: esmaeilim550@gmail.com)
۳- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استاد گروه زراعت، دانشگاه آزاد، واحد کرج

DOI: 10.22067/jsw.v34i5.81493

کشاورزی ایران، پایین بودن بازده آبیاری است. از دیگر عواملی که موجب پایین آمدن بازده آبیاری و هدررفت بالای آب می‌شود، می‌توان به سنتی بودن روش‌های آبیاری و توزیع نامناسب آب اشاره نمود. رضایی و نحوی (۳۴) در بررسی پیامد دور آبیاری در کشت برنج به این نتیجه رسیدند که یکی از راه‌های چیره شدن بر مشکل پایین بودن بهره‌وری آب آبیاری و مصرف بیش از اندازه آب در آبیاری غرقابی، استفاده از روش آبیاری تناوبی یا تر و خشک کردن شالیزارها است. روش‌های مدیریتی، کشت نیمه خشک (SDC)[1] تناوب خشکی و رطوبت (AWD)[2] و ترکیب آب کم عمق با تناوب خشکی و رطوبت (SWD)[3] از انواع روش‌های کم آبیاری در برنج هستند. رودریک و همکاران (۳۵) در پژوهشی نتیجه گرفتند که روش کم آبیاری تناوب خشکی و رطوبت (AWD) در حدود ۳۸ ٪ مصرف آب آبیاری شالیزار را کاهش داده است. روش آبیاری تناوبی به منظور کاهش مصرف آب و نیز جلوگیری از پیامدهای ناسودمند آب‌گرفتگی دایم در شالیزار اجرا می‌شود و در واقع به معنی رساندن آب دوره‌ای و با فواصل معین است؛ به طوری‌که در این روش به جای این که شالیزار در طول فصل رشد همیشه غرقاب باشد، به صورت ناپیوسته به مزرعه خشکی اعمال می‌گردد (۵). به عبارت دیگر، به جای اینکه پای بوته‌ها پیوسته در آب باشد، فقط در مواقع لزوم و به اندازه مورد نیاز، آب به گیاه داده می‌شود (۳۷). همچنین گزارش شده است که اگرچه نظام آبیاری مبتنی بر صرفه‌جویی در آب، مانند رژیم آبیاری تناوبی، ترکیب آب کم عمق با خشکی و رطوبت و رژیم آبیاری تناوب خشکی و رطوبت می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری آب شود، اما این روش‌ها بیشتر باعث کاهش عملکرد می‌گردند که می‌توان با روش‌های به‌زراعی و به نژادی آن را بهبود بخشید (۱۱). یکی از مهم‌ترین اصول به‌زراعی بهبود کیفیت فیزیکی خاک است که به شدت تولید محصول را هم تحت تاثیر قرار می‌دهد.

به تازگی پژوهش‌گران علاقه‌مند به کاربرد از نوعی از کربن آلی سیاه رنگ مقاوم به تجزیه با عنوان بایوچار[4] در کشاورزی گرایش پیدا کرده‌اند (۴۱). بایوچار ماده‌ای جامد و پایدار به شکل زغال است که دارای کربن بالا به صورت زنجیره‌ای می‌باشد و از تجزیه حرارتی[5] دورریزهای زیستی گیاهی (زیست‌توده)، در نبود اکسیژن به وجود می‌آید (۳۶). تولید بایوچار اساساً برای کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از تجزیه عادی بقایای گیاهی به جو است، اما این ماده کاربردهای دیگری نیز در مدیریت خاک و آب پیدا کرده است (۲۶).

در پژوهشی نشان داده شد که بایوچار سبب افزایش گنجایش نگه داری آب در خاک می‌شود (۳۰). افزایش آب قابل دسترس در خاک در پیِ افزودن بایوچار به آن، به دلیل سطح ویژه بالای بایوچار و نقشی است که این ماده در بهبود توزیع اندازه ذرات خاک و تخلخل خاک ایجاد می‌کند (۳۹). در همین راستا گلب و همکاران (۱۷) در یک آزمایش گلخانه‌ای با افزودن مقدار ۴ درصد وزنی بایوچار ساقه گندم به یک خاک ماسه‌ای، به ترتیب افزایش ۶/۶۵ درصدی رطوبت در حد گنجایش زراعی، ۶/۵۹ رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس را گزارش کردند (۲۸).

بایوچار در برابر تجزیه توسط ریزجانداران خاک بسیار مقاوم است و در نتیجه در درازمدت هم روی کیفیت خاک تأثیر دارد. در این راستا، لمان (۲۷) اظهار داشت که کاربرد بایوچار یک رویکرد موفق در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است و منجر به افزایش تولید محصول می شود. سطح ذرات خاک، پارامتر فیزیکی مهمی است که تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند (۱۲). بایوچار فعالیت انواع مختلف میکروب‌های خاک را که از نظر کشاورزی مهم هستند، تحریک می‌نماید (۶). وجود خلل و فرج در بایوچار با حفاظت میکروب‌ها در مقابل شکار شدن و خشکی و هم چنین تأمین نیاز کربنی، انرژی و عناصر معدنی محل مناسبی را برای زیستن ریزجانداران فراهم می‌آورد (۴۵).

آزوسپیریلوم[6] یکی از شناخته شده‌ترین ریزجاندارانی است که می تواند در رایزوسفر غلات و پیرامون ریشه آن‌ها کلونی تشکیل دهد. گروهی از باکتری‌های مفید خاک‌زی که سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند اصطلاحاً تحت عنوان باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR)[7] نامیده می‌شوند و در حال حاضر به صورت یکی از مهم ترین انواع کودهای زیستی به کار برده می‌شوند (۴۸). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بودن باکتری‌های سودمند در رایزوسفر و اندورایزوسفر گیاه میزبان، پیامدهای چشم‌گیری در بهبود شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و در نتیجه افزایش محصول پدید می‌آورد. به گونه‌ای که می‌توان رابطه متقابل برنج با *آزوسپیریلوم* را از جهت آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی گیاهان لگوم و باکتری‌های *رایزوبیوم*[8] دانست (۱۵).

مصرف بی‌رویه آب در آبیاری غرقاب بیانگر نیاز مبرم به سایر روش‌های مدیریتی در کشاورزی برنج اعم از تغییر روش آبیاری و استفاده از کودهای زیستی است. استفاده از کود بایوچار به همراه باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در آبیاری تناوبی برنج، می‌تواند

1- Semi-Dry cultivation
2- Alternate wet and drying
3- Combining shallow water depth with wetting and drying
4- Biochar

5- Pyrolysis
6- *Azospirillum*
7- Plant Growth Promoting Rhizobacteria
8- Rhizobium
4- De Martounne

راهکار مناسبی برای کاهش مشکلات ذکر شده باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش تعیین میزان بهره‌وری مصـــرف آب در روش‌هـای مدیریتی جدید از جمله تغییر روش آبیاری و استفاده از کودهای زیستی و آلی، درنظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ســـاری با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شـــرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شـــمالی و ارتفاع ۱۱ متر پایینتر از ســـطح دریای آزاد اجرا شـــد. بر اســـاس طبقه‌بندی دومارتن [۴]، نواحی شرقی مازندران دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشد (اداره کل هواشناسی استان مازندران)، در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۹۷، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. رقم مورد استفاده برنج طارم هاشمی بود. عامل اصلی، شیوه آبیاری در دو سطح آبیاری غرقاب و آبیاری تناوبی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۱۰۰ درصد نیتروژن (توصیه شده بر اساس آزمون خاک (جدول ۱)) (۲۹). ۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار، ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار (در هکتار)، ۱۰۰ درصـــد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار، ۷۵ در صد نیتروژن + بدون بایوچار، ۷۵ در صد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار، ۷۵ درصـــد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار، ۵۰ درصـــد نیتروژن + بدون بایوچار، ۵۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار، ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایو چار بود. عا مل فرعی-فرعی نیز جدا یه خالص باکتری *آزو سپریلیوم لیپوفروم* [۱]در دو سطح بدون مایه‌زنی با نشا و با مایه‌زنی با نشا بود. آزمایش در ۳ تکرار و در دو سال پشت سرهم انجام شد. در پایان اردیبهشت ماه نمونه های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر قبل از آماده سازی زمین گرفته شد سپس کارهای شخم بهاره، ماله کشیدن، پادلینگ (گل خرابی) و تراز کردن انجام و سپس نقشه طرح، در زمین پیاده شـــد. برای اطمینان از ترکیب نشـــدن آب کرت‌ها (به ابعاد ۴×۲ متر مربع) با هم و همچنین برای جلوگیری از نشـــــت آب، کود و باکتری‌ها، مرز کرت‌ها تا عمق نیم متری پوشـــش نایلونی کشـــیده و هم‌تراز شد و برای نشاکاری آماده گردید.

روش تهیه بایوچار

در ابتدا برای تولید بایوچار مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی تهیه و دســـته‌بندی شـــدند. ســـپس جهت تبدیل مواد سلولزی به کربن در شرایط بی‌هوازی، مواد سلولزی در ابتدا در درجه حرارت ۱۱۰ درجه سلسیوس جهت تبخیر آب موجود به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. ســـپس به مدت ۳ ســـاعت در درجه حرارت ۲۸۰ درجه سلسیوس برای بیرون رفتن مواد فرار قرار داده شدند. واکنش بعدی که مرحله کربونیزاسیون و تشکیل شبکه متخلخل بود گرمازا بود که ۲ ســـاعت طول کشـــید و در گام پایانی کربن‌های تولید شـــده به دمای محیط رســـیدند. برای تولید نانو مواد کربنی در یک کوره دوار به طول ۱۰ متر و قطر ۱۰۶ ســـانتی‌متر و با ســـرعت بارگیری ۶۰ کیلوگرم بر ساعت قرار گرفتند. سپس با تغییرات زمان ماند مواد در کوره و تغییرات درجه حرارت از ۹۰۰ تا ۱۰۵۰ درجه سلسیوس و میزان مواد فعال ساز، بخار آب و اکســـیژن و تغییرات زاویه مواد نانو با حفره‌های گوناگون تهیه شـــدند. در پایان نیز مخلوط کردن بایوچار با نانو و تهیه نانو بایوچار در یک مخلوط کن انجام گرفت (۱۸) (جدول ۲).

پیش از نشـاکاری کود بایوچار و اوره به میزان محاســبه شـده (بر اســـاس آزمون خاک در هکتار اوره (جدول ۱)) (۲۹) برای هر کرت تقسیم و جدا شده و در هر کرت پخش و بخوبی مخلوط شد. سپس برای تکرارهای با آبیاری تناوبی از روش ابداعی ایری (۲۰) اســـتفاده گردید. در این روش در لوله‌های پی‌وی‌ســـی به ارتفاع ۲۰ و قطر پنج سانتی‌متر، با مته برقی سوراخ‌های زیاد ایجاد گردید و لوله‌ها به صورت مشـــبک درآمدند (برای نفوذ آب به درون لوله). لوله‌ها پیش از کشـــت نشاها در کرت‌ها قرار گرفتند و سپس تمامی گل و لای موجود و نشت یافته در لوله‌ها تا کف تخلیه گردید. برای کنترل ســـطوح آبیاری با اســـتفاده از خط‌کش مدرج میزان ســـطح آب در داخل لوله‌های کار گذاشته شده در کرت‌ها، روزانه بازبینی و بررسی شد و در صورت نیاز و بر اساس سطوح تعریف شده روش ابداعی ایری ، آبیاری انجام شده و مقدار آن یادداشـــت گردید. برای اندازه‌گیری آب ورودی مزرعه ابتدا در طول همه‌ی تکرارها لوله‌های پلی‌اتیلن به موازات تکرارها کشـــیده شد و بر روی هر یک از لوله‌ها در کنار هر کرت لوله‌های فرعی همراه با شیر فلکه قرار گرفت که آب را از لوله اصلی به هر کرت به صورت جدا هدایت می‌کرد. همچنین در ابتدای هر لوله اصـلی که هر تکرار را آبیاری می‌کرد یک شیر فلکه گنجانده شد. در ورودی مزرعه نیز کنتور آب قرار گرفت تا بتوان آب وارد شـــده به هر تکرار و کل مزرعه را اندازه‌گیری و محاســبه نمود. برای مایه‌زنی باکتری با ریشـــه‌های گیاه برنج، ابتدا نشـــاهای جوان در گام ۳/۵ تا ۴ برگی از خزانه خارج و ریشـــه‌ها به طور کامل مورد شـــســـت و شـــو قرار گرفت. ســـپس تعداد مشـــخصـــی از آنها درون تشـــت که از پیش درون آن ۱۰ لیتر آب به همراه یک لیتر زادمایه باکتری *آزوســـپریلیوم لیپوفروم* (تهیه شـــده از موســـســـه آب و خاک کرج) ریخته شـده بود به همراه ۱۵ گرم از ماده کربوکســـی متیل ســـلولز (CMC) برای افزایش میزان چســـبندگی باکتری‌ها به ریشه به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. در پایان نشاها به زمین اصلی انتقال داده شدند. اندازه‌گیری عملکرد شلتوک در پایان فصل رشد (۹۵ روز) با برداشت بوته از چهار متر مربع از وسط هر کرت با رطوبت ۱۲ درصد اندازه‌گیری شد (۴۶).

1- *A. lipoferum*

جدول ۱- خصوصیات خاک

Table 1- Soil charactristics

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil texture	کربن آلی Organic carbon	ماده آلی Organic matter	اسیدیته اشباع Saturated acidity	هدایت الکتریکی Electric conductivity	نیتروژن (N)	فسفر قابل جذب (P)	پتاسیم قابل جذب (K)
	%			%			dS/m	%	mg/kg	
41	28	31	لومی رسی (loam clay)	1.96	3.39	8.4	0.6	0.19	5	186

جدول ۲- ویژگی‌های بایوچار استفاده شده

Table 2- Biochar properties used

دانه بندی Grading	نیتروژن N (g/kg)	درصد کربن C %	درصد خاکستر Ash %	pH	محتوای رطوبت Moisture content (%)	عدد متیلن بلو Methylene blue number (mg/g)	مساحت سطح بر اساس استاندارد ASTM Surface area according to standard ASTM (m^2/g)	عدد ید Iodine number (mg/g)	ویژگی‌های بایوچار Biochar properties
0.1≥	18-20	48-50	4-5	5.8	3-4	150-250	950-1100	950-1100	مقدار

شاخص بهره‌وری مصرف آب

برای تعیین بهره‌وری آب کشاورزی از سه شاخص CPD، BPD، و NBPD استفاده می‌شود (۲۱). شاخص CPD در واقع نسبت مقدار محصول تولید شده به حجم آب مصرف شده در هکتار است. که در آن TP مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و TWc حجم آب مصرف شده (مترمکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد.

CPD = TP/TWc معادله ۱)

شاخص BPD در واقع نسبت میزان سود ناخالص (درآمد) در هر هکتار به ازای واحد حجم آب (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. که در آن TR مقدار ارزش کل فروش محصول در هکتار (ریال) است. TWc حجم آب مصرف شده (متر مکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد. در این روش هزینه‌ی تولید محصول در نظر گرفته نمی‌شود.

BPD = TR/TWc معادله ۲)

بهترین شاخص برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی NBPD یا سود خالص به ازای واحد آب مصرفی می‌باشد که میزان سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌نماید. این شاخص اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک مواجه با محدودیت شدید آب دارد. که در آن NB میزان سود خالص (ریال) در هر هکتار است. TWc حجم آب مصرف شده (متر مکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد.

NBPD = NB/TWc معادله ۳)

تجزیه داده‌ها، به‌صورت آنالیز واریانس مرکب طرح کرت‌های دو بارخرد شده[1] در دو سال با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها در صورت معنی‌داری پیامد عامل‌ها در جدول تجزیه واریانس، با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد. همچنین، در جدول تجزیه واریانس پیامدهای شیوه آبیاری، کود و باکتری ثابت و اثر سال تصادفی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

عملکرد شلتوک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش دوگانه شیوه آبیاری × کود و کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد معنی‌دار بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه مشخص کرد (جدول ۴) که در حالت آبیاری غرقاب، مصرف ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار، به همراه مایه‌زنی با باکتری، بالاترین عملکرد شلتوک را تولید نمود (ولی این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن به همراه ۲۰ تن بایوچار با مصرف باکتری نداشته است). این در حالی بود که مصرف ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مایه‌زنی باکتری

1- Split split plot

باعث تولید بیشترین عملکرد شلتوک در آبیاری تناوبی گردید. به دلیل آنکه در شیوه آبیاری تناوبی گیاه برنج بخشی از طول فصل رشد را در شرایط کم آبی سپری می‌کند، پس پیش‌بینی این است که عملکرد در مقایسه با شرایط غرقاب کمتر باشد (۳۳). توکلی و همکاران (۴۰) نیز بیشترین عملکرد شلتوک را در حالت غرقاب دائم مشاهده شد. با وجود این که کم آبیاری یک راهبرد بهینه و برتر برای تولید محصـــول در شرایط کمبود آب است، اما نخستین پیامد آن کاهش محصول در واحد سطح است. در همین راستا مقایسه بین کمترین عملکرد شلتوک که در هر دو شـیوه غرقاب و تناوب آبیاری در تیمار مصـرف ۵۰ درصـد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصـرف باکتری بدسـت آمد، نشـان دهنده کاهش حدود ۵۴ درصـدی عملکرد شـلتوک در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. این درحالی است که مقایسه بین بیشترین عملکرد شـلتوک در دو شـیوه آبیاری غرقاب و تناوبی (در غرقاب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار همراه با باکتری و در آبیاری تناوبی در تیمار ۷۵ درصـد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مصـرف باکتری) نشان دهنده ۸/۲ در صد کاهش عمل‌کرد شلتوک در آبیاری تناوبی نسـبت به غرقاب می‌باشـد. بر اسـاس یافته‌ها کاربرد ترکیب کودی از یک سـو میزان اختلاف عمل‌کرد شـلتوک را بین دو شـیوه آبیاری کمتر کرده اسـت و از سـوی دیگر موجب کاهش مصـرف کود نیتروژن شده که این امر نشان دهنده تاثیر مثبت آن می‌باشد (جدول ۴). به نظر می رسد بایوچار با افزایش گنجایش نگه‌داری آب در خاک توانسته است کاهش عمل‌کرد شلتوک برنج در شرایط آبیاری تناوبی نسـبت غرقاب را جبران کند. در همین زمینه کورنلیسـون و همکاران (۱۴) تاثیر بایوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک را در سه خاک با بافت سـبک، سـنگین و متوسـط بررسـی کردند. نتایج آنان نشـان داد که اسـتفاده از بایوچار در خاک موجب افزایش آب قابل دسـترس گیاه در هر سـه خاک مورد آزمایش شـد. آب قابل دسـترس گیاه در خاک با بافت شنی بیشترین افزایش (از ۱۷ به ۲۱ در صد) و در خاک با بافت رسی سیلتی کمترین افزایش (۲۲ به ۲۴ درصد) را داشت.

با بررسی نتایج همچنین مشخص شد که در شیوه آبیاری غرقاب، زمانی که باکتری مورد استفاده قرار نگرفت، ترکیب ۷۵ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار بهترین ترکیب کود در بالاترین عمل‌کرد شـلتوک بود. در حالی که با مایه‌زنی باکتری ترکیب ۷۵ درصـد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار عملکرد بالایی را نشـان داد. همچنین در آبیاری تناوبی زمانی که مایه‌زنی باکتری نشده بود، ترکیب ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بهترین ترکیب کودی برای بالاترین عملکرد شـلتوک بود. و در صورت به کارگیری باکتری ترکیب ۵۰ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بالاترین عملکرد شلتوک را نشان داد. مشاهده می شود که در سـطوح پایین تر مصـرف نیتروژن کارایی باکتری برای دست یابی به عملکرد بالاتر بهتر از سـطوح بالای مصـرف نیتروژن بوده و کارایی مصرف باکتری در سطوح پایین تر مصرف نیتروژن در آبیاری تناوبی نسـبت به غرقاب بیشـتر به چشـم می‌آید. در واقع در آبیاری تناوبی، باکتری در مقادیر کمتر کود نیتروژن بهتر عمل می‌کند. در همین راستا لهمان و همکاران، (۲۵) بیان داشـتند که بایوچار به عنوان ماده افزوده شـده به خاک، توانایی تحریک ریزجانداران مفید خاک را داراسـت. بایوچار با تأثیر مثبت بر کارایی مصرف منابع و نهاده‌های کشاورزی و عمل‌کرد گیاهان زراعی به دلیل سـطح ویژه بالا بیشـتر در بهبود رانـدمـان تولیـدات زراعی (۳۸) و کـاهش هـدر رفـت نیتروژن (دنیتریفیکاسـیون) و افزایش کارایی ریز جانداران مفید تثبیت کننده نیتروژن در نتیجه جذب بیشتر نیتروژن (۴۳) تاثیر بسزایی دارد.

همچنین جدول ۴ نشـان می دهد که در آبیاری غرقاب تفاوت میزان عملکرد شـلتوک بین کمترین (۵۰ درصـد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشـترین (۷۵ درصـد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) میزان آن، ۵۳/۶ در صد می‌باشد. در سوی دیگر، در شیوه تناوبی تفاوت بین کمینه (۵۰ در صد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشینه (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون باکتری) این شاخص ۷۶/۹ درصد بود. همان گونه که بیان شد در هر دو شرایط آبیاری، تیمار ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار توانسته موجب افزایش عملکرد شـلتوک شـود ولی میزان این تاثیر در شـرایط آبیاری تناوبی به مراتب بیشـتر از غرقاب بوده اسـت. گمان می‌رود کاربرد هم‌زمان کود شـیمیایی و بایوچار به دلیل فراهمی بهتر آب و عناصر غذایی به ویژه نیتروژن سبب تحریک رشد و بهبود وزن خشک گیاه و در پی آن افزایش عملکرد برنج گردیده است. عارف و همکاران (۷) نیز بالاترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار بایوچار به همراه کود شـیمیایی و کمترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار بایوچار تنها گزارش کردند. در پژوهشـی با عنوان بررسـی پیامد بایوچار، کمپوسـت و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم مشخص شد که بیشترین تأثیر بایوچار در کاربرد آن به همراه کود شـیمیایی و کمپوسـت اسـت. پژوهش‌های گوناگونی پیامد افزایشـی بایوچار در ترکیب با کودهای آلی و معدنی را نشان داده است (۱۶). افزایش عمل‌کرد در تیمارهای دارای بایوچار و کود به دلیل تأثیر بایوچار در نگه‌داری عناصر غذایی و جلوگیری از آب شویی و تصعید نیتروژن و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی عنوان شده است. مصرف همزمان بایوچار و کود شـیمیایی بهتر از مصـرف هر یک از این مواد به تنهایی بود که در پژوهش های دیگر (۷ و ۱۳) هم نشان داده شده است.

جدول ۳- آنالیز واریانس مرکب طرح کرت های دوبار خرد شده در دو سال

Table 3- Combined analysis of variance of split–split plot design in two years

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه ازادی (Df)	میانگین مربعات Mean Squares				
		عملکرد (Yeild)	آب (Water)	CPD	BPD	NBPD
سال(Year)	1	159494.42^{ns}	172381.5**	0.01035421^{ns}	37275153^{ns}	2835278921**
بلوک (سال) (Block) (Year)	4	66064.86	3413.1	0.00044039	1585410	2073364
شیوه آبیاری(Irrigation method)	1	34188587.28**	502469209**	1.82863011**	6583068381**	5085794960**
سال × شیوه آبیاری (Year* Irrigation method)	1	23.52^{ns}	216^{ns}	0.00091670^{ns}	3300124^{ns}	2434668844**
بلوک × شیوه آبیاری (سال) (Block* Irrigation method) (Year)	4	144153.21	477.1	0.00286733	10322371	8294234
کود(Fertilizer)	8	11910461.80**	12295462.5**	88710929**	3193593450**	2374134038**
سال × کود (Year* Fertilizer)	8	206.39^{ns}	212.3^{ns}	0.00008827^{ns}	317756^{ns}	469510931**
شیوه آبیاری × کود (Irrigation method* Fertilizer)	8	2245504**	2135257.7**	0.32491656**	1169699617**	1312819880**
سال × شیوه آبیاری × کود (Year*Irrigation method* Fertilizer)	8	7.23^{ns}	4.31^{ns}	0.00005258^{ns}	189279^{ns}	469893469**
بلوک× کود (سال×شیوه آبیاری) (Block* Fertilizer) (Year*Irrigation method)	64	149853.53	6033.5	0.00421456	15172406	11385157
باکتری (Bactria)	1	5581072.83**	47704.2**	0.09197787**	331120320**	432339115**
سال × باکتری (Year* Bactria)	1	91.36^{ns}	88.2^{ns}	0.00002719^{ns}	97886^{ns}	34125837^{ns}
کود× باکتری (Fertilizer* Bactria)	8	6374198.05**	9742.2*	0.13898126**	500332422**	315029556**
سال × کود × باکتری (Year* Fertilizer* Bactria)	8	1024.83^{ns}	1023.9^{ns}	0.00005642^{ns}	203120^{ns}	20335158*
شیوه آبیاری × کود × باکتری (Irrigation method* Fertilizer* Bactria)	9	2643906.69**	7305^{ns}	0.06955492**	250397698**	171661196**
سال ×شیوه آبیاری × کود ×باکتری (Year*Irrigation method* Fertilizer* Bactria)	9	6.67^{ns}	3.72^{ns}	0.00000527^{ns}	18984^{ns}	22499509*
خطای آزمایش (Error)	72	108124.60	3852.7	0.00304726	10970127	8991320
ضریب تغییرات (CV)		8.11	0.876287	9.003233	9.002323	10.73862

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns به معنای غیر معنی‌دار بودن می‌باشد.

*and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ns: not significant.

آب مصرفی

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشخص شد که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش دوگانه شیوه آبیاری × کود در سطح احتمال یک در صد و برهم‌کنش دوگانه کود × باکتری در سطح احتمال پنج درصد بر آب مصرفی معنی‌دار بود. با بررسی جدول مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در شیوه آبیاری (جدول ۵) مشخص شد که در آبیاری غرقابی کمترین میزان مصرف آب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بوده است که البته تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار از خود نشان نداده است. کمترین میزان آب مصرفی در شیوه آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بوده است که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار ۷۵ درصد نیتروژن

+ ۲۰ تن بایوچار از خود نشان نداده است. بیشترین میزان مصرف آب در شیوه آبیاری تناوبی به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و در آبیاری غرقابی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار بوده است. کرر و همکاران (۲۲) گزارش کرده اند که کاربرد بایوچار چوب راش در خاک با بافت لوم رسی آب قابل دسترس گیاه را به طور معنی داری افزایش داده اما در خاک با بافت لوم سیلتی اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد با دیگر تیمارها مشاهده نشده. در آبیاری غرقاب مقایسه بین کمترین میزان مصرف آب (۲۰ تن بایوچار + ۱۰۰ درصد نیتروژن) با بیشترین میزان مصرف آب (بدون بایوچار+ ۵۰ در صد نیتروژن در آبیاری تناوبی و ۷۵ در صد نیتروژن + بدون بایوچار در غرقاب) نشان از کاهش ۱۲/۶ درصدی مصرف آب داشت درحالی که همین مقایسه در آبیاری تناوبی کاهش ۵۲/۴ درصدی مصرف آب را نشان داد. در واقع در هر دو شیوه آبیاری با افزایش مصرف بایوچار میزان آب مصرفی کاهش معنی داری داشت که این میزان کاهش در مصرف آب در آبیاری تناوبی به مراتب بیشتر بود. البورکرکی و همکاران (۲) نیز با بررسی پیامدهای پنج نوع بایوچار متفاوت (هسته زیتون، پوسته بادام، کاه گندم، خرده چوب کاج و چوب زیتون) در یک خاک با بافت شن لومی دریافتند که کاربرد بایوچار بطور کلی رطوبت گنجایش زراعی را بطور معنی‌داری افزایش داده و بیشترین افزایش مربوط به بایوچار کاه گندم و خرده چوب کاج بود. لیو و همکاران (۲۸) و اتکینسون و همکاران (۸) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. کینی و همکاران (۲۴) گزارش کردند که با کاربرد بایوچار در خاک شنی اندازه آب در گنجایش زراعی (FC) ۲۵ درصد افزایش یافت و این افزایش به منبع بایوچار و روش تهیه آن بستگی داشت. در خاک درشت بافت به علت اندازه کم ماده آلی گنجایش نگه‌دار آب پایین بود و با افزودن بایوچار به خاک‌های شنی خلل و فرج ریز افزایش یافته و رطوبت خاک نیز افزایش می‌یابد. متخلخل بودن بایوچار و دارا بودن یک سطح ویژه بالا می‌تواند دلیلی برای افزایش نگه‌داشت آب در خاک در پیِ کاربرد آن باشد.

در مقایسه میانگین پیامد برهم کنش باکتری و کود (جدول ۶) مشخص شد که کمترین میزان آب مصرفی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار با مصرف باکتری بود که البته تفاوت معنی داری با تیمارهای ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری و ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار با مصرف و بدون مصرف باکتری نداشت. در واقع می توان گفت که مصرف باکتری تاثیر معنی‌داری بر میزان آب مصرفی نداشته است. بیشترین میزان آب مصرفی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری بود که تفاوت معنی داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری نداشت. که نشان دهنده تاثیر بایوچار در نگهداشت و حفظ آب در خاک می باشد در واقع بایوچار به دلیل گنجایش بالای نگه داری آب در خود توانسته میزان آب موجود در مزرعه را به مدت بیشتری حفظ کند و موجب کاهش دفعات آبیاری و در پی آن کاهش مصرف آب گردد. در ضمن در تمامی تیمارهای کودی به غیر از ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار و ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایو چار تفاوت معنی داری بین مایه‌زنی کردن و نکردن نشای برنج با باکتری در میزان آب مصرفی وجود نداشت.

CPD و BPD

به دلیل آنکه شاخص BPD حاصل ضرب عملکرد شلتوک در قیمت آن تقسیم بر آب مصرفی است، بنابراین از لحاظ مقایسه میانگین تفاوتی با شاخص CPD ندارد و تفاوت بین میانگین‌های آنها یکی است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش‌های دوگانه شیوه آبیاری × کود و کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص CPD و BPD معنی‌دار بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴ و ۷) معلوم گردید که که در آبیاری غرقاب بیشترین مقدار CPD (۰/۷۳۶۹) و BPD (۴۴۲۱۶) مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بود. در حالی که بیشترین میزان CPD (۱/۲۸۹۱) و BPD (۷۷۳۴۴) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد. که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار در هر دو شاخص وجود نداشت. کمترین میزان این دو شاخص در هر دو شیوه آبیاری مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود. در حقیقت شاخص CPD نشان دهنده میزان کیلوگرم عملکرد تولید شده در ازای یک متر مکعب آب مصرف شده می باشد بنابراین هر چه این نسبت بالاتر باشد نشان دهنده‌ی مصرف بهتر آب است، اما لزوما نشان دهنده‌ی سود اقتصادی بیشتر نمی‌تواند باشد. چاودری و همکاران (۱۳) نیز در آزمایش‌های خود به تأثیر بیشتر تیمارهای دارای ترکیب کود شیمیایی و بایوچار نسبت به تیمارهای دارای کود شیمیایی بدون کاربرد بایوچار بر افزایش عملکرد محصول اشاره کرده و دلیل این امر را جلوگیری از آب شویی عناصر غذایی در تیمارهای دارای بایوچار عنوان کردند. اگر تمام عناصر غذایی به مقدار کافی در خاک موجود بوده و خاک حاصل‌خیز باشد تفاوت کمی بین تیمارهای دارای بایوچار و تیمارهای شاهد مشاهده شده است و تفاوت‌ها در خاک‌های تخریب شده و کم حاصل‌خیز بیشتر قابل مشاهده بوده است (۱۳).

در آبیاری غرقاب تفاوت بین کمترین (۵۰ در صد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشترین (۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و مصرف باکتری) میزان شاخص CPD، ۵۸/۸ درصد بود.

در آبیاری تناوبی تفاوت بین کمینه (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشینه (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) این شاخص ۸۴/۹ در صد بود. همان‌گونه که بیان شد در هر دو شرایط آبیاری، تیمار ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار توانسته موجب افزایش بهره‌وری آب شود ولی میزان این تاثیر در شرایط آبیاری تناوبی بهتر بوده است. در پژوهش کرنلیسن و هم‌کاران (۱۴) هیچ تأثیر مثبتی از بایو چار بر ذرت در خاک های حاصل‌خیز دیده نشد، در حالی‌که در خاک‌های ضعیف ۱۶ تا ۳۵ درصد افزایش در عملکرد مشاهده گردید (۱۴). ازوما و همکاران (۴۲) نیز در پژوهشی گزارش کردند کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بایوچار کود گاوی در یک خاک شنی کارایی مصرف آب ذرت را به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۶، ۱۳۹ و ۹۱ درصد افزایش داد.

جدول ٤- مقایسه میانگین پیامد برهم‌کنش کود در باکتری، برش خرده بر اساس شیوه آبیاری برای عملکرد برنج و CPD

Table 4- Mean comparison of the interaction effect of irrigation method, fertilizer and bacteria, fractional cut according to irrigation method for rice yield and CPD

کود Fertilizer	عملکرد برنج Rice yeild Kg/ha				CPD			
	آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (alternative irrigation)		آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (alternative irrigation)	
	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	2755.26[j]	4952.51[c]	1258.45[j]	3122.68[h]	0.3033[k]	0.5439[defg]	0.1937[j]	0.4858[h]
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	3133.84[ij]	4838.01[c]	3939.50[de]	3839.41[de]	0.3606[jk]	0.5577[defg]	0.6518[e]	0.637[e]
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	4964.61[c]	4404.82[def]	5330.78[a]	4756.24[b]	0.6089[cd]	0.5403[efg]	1.2408[a]	1.1069[b]
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	4097[fg]	3330.59[hi]	3400.82[fgh]	1962.51[i]	0.447[hi]	0.3671[jk]	0.522[gh]	0.3073[i]
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	5494.30[b]	4290.36[ef]	3410.79[fgh]	4400.78[bc]	0.6368[bc]	0.4969[gh]	0.5662[fg]	0.7404[d]
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	4727.90[cd]	5959.43[a]	5457.84[a]	4036.86[cd]	0.5857[cde]	0.7369[a]	1.2891[a]	0.9684[c]
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	3706.65[gh]	4625.17[cde]	2346.94[i]	3390.99[fgh]	0.4105[ij]	0.5072[fgh]	0.3646[i]	0.5302[gh]
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	4947.05[c]	4269.35[ef]	3774.35[def]	3571.45[efg]	0.5737[cdef]	0.4983[gh]	0.6308[ef]	0.6054[ef]
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	4132.94[f]	5554.51[ab]	3241.70[gh]	4610.81[b]	0.5123[fgh]	0.6931[ab]	0.7672[d]	1.0852[b]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر دو ستون کنار هم نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each two columns, are not significantly different at P<0.05 level of probability.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در شیوه آبیاری بر آب مصرف شده

Table 5- Mean comparison of the interaction effect of fertilizer and irrigation method on used water

کود Fertilizer	آب مصرف شده (Used Water) m^3/ha	
	آبیاری غرقابی (Flood irrigation)	آبیاری تناوبی (Alternative irrigation)
نیتروژن۵۰+بایوچار۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	9102.92[a]	6454.42[a]
نیتروژن۵۰+بایوچار۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	8781.75[b]	6038.58[b]
نیتروژن۵۰+بایوچار۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	8115.58[d]	4297.42[d]
نیتروژن۷۵+بایوچار۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	9115[a]	6450.67[a]
نیتروژن۷۵+بایوچار۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	8634.5[bc]	5985.83[bc]
نیتروژن۷۵+بایوچار۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	8092.75[d]	4201.25[e]
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	9075.25[ab]	6417.92[a]
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	8597.17[c]	5941.83[c]
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	8081.5[d]	4234.83[e]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each column, are not significantly at P<0.05 level of probability.

لازم به ذکر است که مقایسه بین بیشترین CPD در دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوبی (در غرقاب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار همراه با باکتری و در تناوب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۴۲/۸ درصد افزایش CPD در تناوب نسبت به غرقاب می‌باشد. این درحالی‌ست که مقایسه بین کمترین CPD در دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوب (هر دو در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۵۶/۵ درصد کاهش CPD در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. در واقع این مقایسه نشان‌دهنده این است که در شرایط تیمار کودی شاهد، آبیاری تناوبی اگرچه موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری غرقاب می شود، ولی به دلیل افت شدید عملکرد در آبیاری تناوبی ، شاخص بهره وری آب CPD کاهش شدید (افت ۵۶/۵ درصد نسبت به حالت غرقاب) پیدا می‌کند. در سوی دیگر، افزایش شاخص بهره‌وری در روش آبیاری تناوب نسبت به غرقاب نشان دهنده تاثیر مثبت تیمار کودی بر CPD است. در پژوهش ابراهیم و همکاران (۱۹) چهار سطح مختلف بایوچار با دو سطح نیاز آبیاری (۸۰ ٪ و ۱۰۰ ٪ نیاز آبی) بر عمل‌کرد و اجزای عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنان نشان داد که تیمارهای دارای بایوچار با آبیاری براساس ۸۰ درصد نیاز آبی از عملکرد بالاتری نسبت به تیمارهای بدون بایوچار و آبیاری برا ساس ۱۰۰ ٪ نیاز آبی برخوردار بودند. آنان دلیل این امر را افزایش گنجایش نگه‌داری آب و مصرف آب کمتر و همچنین کاهش آب‌شویی عناصر غذایی در تیمارهای دارای بایوچار عنوان کردند. البته پیامد بایوچار در بهبود نفوذ آب در خاک و نگه‌داری آب در خاک توسط پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش شده است (۴۷).

در شاخص BPD نیز مشخص گردید که در شرایط تیمار کودی شاهد(تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری)، آبیاری تناوبی اگرچه موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری غرقاب می‌شود، ولی به دلیل افت شدید عملکرد در آبیاری تناوبی ، سود ناخالص اقتصادی در ازای مصرف یک متر مکعب آب، کاهش شدید (افت ۵۶/۵ درصد نسبت به حالت غرقاب) پیدا کرد، این درحالی‌ست که اعمال تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار موجب افزایش ۴۲/۸ درصدی سود اقتصادی نسبت به آبیاری غرقاب شد. (جدول ۷) این امر نشان دهنده‌ی تاثیر مثبت تیمار کودی در افزایش میزان سود اقتصادی به میزان آب مصرفی است. و موجب توجیه اقتصادی آبیاری تناوبی (که همراه با کاهش مصرف آب است) می‌باشد.

NBPD

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشخص شد تمامی پیامدهای ساده و برهم‌کنش دو گانه و سه گانه به جز پیامد سال × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص NBPD معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش ۴ گانه سال ×شیوه آبیاری× کود ×باکتری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار گردید (جدول ۲). به دلیل پیچیدگی بیش از حد، تحلیل برهم‌کنش چهار گانه تفسیر نشد و درباره این شاخص به تفسیر برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری، اکتفا شد. جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) نشان داد که در شیوه آبیاری غرقاب بیشترین مقدار NBPD (۳۴۳۰۹) مربوط به تیمار ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بود. این درحالی است که بیشترین میزان همین شاخص (۶۷۴۱۲) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد. که البته تفاوت آماری معنی داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری نداشت. کمترین میزان این شاخص در هر دو روش آبیاری غرقاب (۱۱۶۰۰) و تناوبی (۸۵۲۰/۱۴) مربوط به تیمار ۵۰ در صد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود.

شاخص NBPD نشان دهنده میزان درآمد خالص بدست آمده در ازای یک متر مکعب آب مصرف شده است و بنابراین، هر چه این نسبت بالاتر باشد نشان دهنده‌ی مصرف بهتر آب و سود اقتصادی خالص بیشتر می‌باشد. در واقع بهترین شاخص برای مقایسه دو شیوه آبیاری و تیمارهای کودی در بهره‌وری مصرف آب شاخص NBPD است. در آبیاری غرقاب تفاوت بین کمترین (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشترین (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و مصرف باکتری) میزان شاخص NBPD، ۶۶/۱ درصد بود. در واقع تیماری کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مایه‌زنی باکتری توانسته به ازای هر متر مکعب آب بکار رفته مبلغ ۲۲۷۰۹ ریال سود خالص بیشتری را در شرایط آبیاری غرقاب ایجاد کند. در آبیاری تناوبی اختلاف بین کمینه (۵۰ در صد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشینه (۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) این شاخص ۸۷/۳ در صد است. همان‌طور که مشاهده می شود تیماری کودی ۵۰ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری توانسته به ازای هر متر مکعب آب استفاده شده مبلغ ۵۸۸۹۱ ریال سود خالص بیشتری را ایجاد کند. بنابراین در هر دو شرایط آبیاری، تیمار کودی توانسته، NBPD را بهبود بخشد اما کارایی آن در شرایط تناوب به مراتب بیشتر بوده است.

در پژوهشی مشابه اختر و همکاران (۱) گزارش کردند که روش های کم آبیاری و آبیاری در ناحیه ریشه در مقایسه با آبیاری کامل، به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در گوجه فرنگی به میزان ۳۵ و ۱۵ درصد افزایش شدند. آنان همچنین گزارش کردند کاربرد بایوچار به دست آمده از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان سبب افزایش کارایی مصرف آب در همه تیمارهای آبیاری در مقایسه با شرایط بدون بایوچار شد. از آنجا که در شرایط آبیاری تناوبی، گیاه برنج بخشی از فصل رشد را در شرایط کمبود آب سپری می‌کند، پیش‌بینی کاهش مصرف آب و در پیِ آن افزایش شاخص NBPD نسبت به شرایط غرقاب، می‌شود. از سویی کاهش مصرف آب در آبیاری تناوبی موجب کاهش نسبی عملکرد شلتوک می شود. در این بین مقایسه بین بیشترین NBPD در دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوب (در غرقاب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری و در آبیاری تناوبی در ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۴۹/۱ درصد افزایش NBPD در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. این درحالی ست که مقایسه بین کمترین NBPD که در هر دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوب در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد، نشان دهنده‌ی کاهش ۳۶/۱ درصدی NBPD در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب بود. مشاهده شد که در شرایط تیمار کودی شاهد(۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار)، آبیاری تناوبی اگرچه موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری غرقاب شد ولی به دلیل افت عملکرد در آبیاری تناوبی، سود خالص اقتصادی در ازای مصرف یک متر مکعب آب، منفی (افت ۳۶/۱ درصد نسبت به حالت غرقاب) بود. این در حالی است که اعمال تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار موجب افزایش ۴۲/۸ درصدی سود اقتصادی به میزان آب مصرفی نسبت به آبیاری غرقاب شد. این امر نشان دهنده تاثیر مثبت و چشم‌گیر تیمار کودی در افزایش میزان سود اقتصادی خالص به میزان آب مصرفی در آبیاری تناوبی می‌باشد و بنابراین آبیاری تناوبی را از لحاظ اقتصادی توجیه می کند. به طوری که این توجیه اقتصادی در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار) در آبیاری تناوبی مشاهده نمی‌شود، گرچه با کاهش مصرف آب همراه است. البته تاثیر مثبت تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بر روی سود اقتصادی خالص به ازای متر مکعب آب مصرفی (NBPD) در آبیاری غرقاب نیز نسبت به شاهد (۱۰۰ در صد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار) مشاهده شده است. ولی اندازه این تاثیر به مراتب کمتر از آبیاری تناوبی بوده است.

در همین راستا ژانگ و همکاران (۵۰) گزارش کردند کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بایوچار تولید شده از کاه گندم، عملکرد ذرت را به ترتیب به میزان ۱۱/۶ و ۱۸/۲ درصد در شرایط کاربرد کود نیتروژن و به میزان ۷ و ۱۶ درصد در شرایط بدون کاربرد نیتروژن افزایش داد. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ (۴۹) نیز افزایش عملکرد ذرت در تیمارهای بایوچار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت دادند. بایوچار

با پیامد مثبت بر کارایی مصرف منابع و نهاده‌های کشاورزی و عملکرد گیاهان زراعی به دلیل سطح ویژه بالا در بهبود راندمان تولیدات زراعی موثر است (۳۶).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دســت آمده می توان گفت که کاربرد ترکیب کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار با افزایش نگه داشت آب در خاک و جلوگیری از آبشـــویی و تصـــعید نیتروژن موجب افزایش عملکرد برنج و همچنین کاهش مصـــرف آب و متعاقب آن افزایش شاخص های بهره وری مصرف آب در کشت برنج شده است، که البته میزان این تاثیرگذاری در آبیاری تناوبی چشـــم گیر تر بوده اســـت. در واقع می توان گفت که اســـتفاده از ترکیب کودی بایوچار و نیتروژن توانسته کاهش عملکرد ناشی از کاهش مصرف آب در آبیاری تناوبی را نسبت به آبیاری غرقاب تا اندازه زیادی جبران کند.

جدول ٦- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در باکتری بر آب مصرف شده

Table 6- Mean comparison of the interaction effect of fertilizer and bacteria on used water

کود (Fertilizer)	باکتری (Bacteria)	آب مصرف شده (Used water) m^3/ha
		آب مصرفی
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	7788[ab]
	با باکتری (With bacteria)	7769.33[bc]
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	7367[d]
	با باکتری (With bacteria)	7353.33[de]
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	6226[h]
	با باکتری (With bacteria)	6227[h]
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	7839.33[a]
	با باکتری (With bacteria)	7726.33[c]
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	7329.17[def]
	با باکتری (With bacteria)	7291.17[fg]
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	6151.5[i]
	با باکتری (With bacteria)	6122.5[i]
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	7734.83[bc]
	با باکتری (With bacteria)	7758.33[bc]
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	7303.67[ef]
	با باکتری (With bacteria)	7235.33[g]
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	بدون باکتری (No bacteria)	6143.83[i]
	با باکتری (With bacteria)	6132.5[i]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each column, are not significantly at P<0.05 level of probability.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در باکتری، برش خرده بر اساس شیوه آبیاری بر BPD و NBPD

Table 7- Mean comparison of the interaction effect of irrigation method, fertilizer and bacteria, fractional cut according to irrigation method on BPD and NBPD

کود (Fertilizer)	BPD				NBPD			
	آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (Alternative irrigation)		آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (Alternative irrigation)	
	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)
نیتروژن۵۰+بایوچار۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	18197[k]	32636[defg]	11621[j]	29149[h]	11600[k]	26050[de]	8520.14[j]	25241[f]
نیتروژن۵۰+بایوچار۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	21638[jk]	33464[defg]	39109[e]	38217[e]	13582[jk]	25395[de]	34951[d]	33220[de]
نیتروژن۵۰+بایوچار۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	36531[cd]	32417[efg]	74450[a]	66412[b]	26721[cd]	22607[efg]	67412[a]	66412[a]
نیتروژن۷۵+بایوچار۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	26823[hi]	22026[jk]	31318[gh]	18436[i]	20275[gh]	15407[ij]	18956[h]	13924[i]
نیتروژن۷۵+بایوچار۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	38208[bc]	29811[gh]	33974[fg]	44422[d]	30096[bc]	21708[fg]	25617[f]	33435[de]
نیتروژن۷۵+بایوچار۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	35145[cde]	44216[a]	77344[a]	58106[c]	25229[def]	34309[a]	58159[b]	43773[c]
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	24627[ij]	30432[fgh]	21877[i]	31811[gh]	17984[hi]	23852[defg]	14735[i]	21265[gh]
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	34422[cdef]	29896[gh]	37845[ef]	36323[ef]	26305[d]	21728[fg]	25328[f]	24437[fg]
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	30738[fgh]	41585[ab]	46031[d]	65112[b]	20822[gh]	31603[ab]	30857[e]	43717[c]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر دو ستون کنار هم نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است

Means with similar letters in each tow column, are not significantly different at P<0.05 level of probability

منابع

1- Akhtar S.S., Andersen M.N., and Liu F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. Agric. Water Manage 138: 37-44.

2- Alburquerque J.A., Calero J.M., Barron V., Torrent J., Del Campillo M.C., Gallardo A., and Villar R. 2012. Effects of biochars produced from different feed stocks on soil properties and sunflower growth. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177:16–25.

3- Arabi Yazdi A., Alizadeh A., and Mohammadian F. 2010. Investigation of water ecological footprints in iranian agriculture. water and soil Journal 23(4): 15-1. (In Persian with English abstract)

4- Arabzade B. 2006. Investigation of low irrigation in Fajr cultivar. Publishing Department of Rice Research Institute of Iran. 24 pages.

5- Arabzade B., and Aghajani S. 2003. Rice, Vegetation, Water Requirements, Pests and diseases and weed Management.

6- Anderson C.R., Condron L.M., Clough T.J., Fiers M., Stewart A., Hill R.A., and Sherlock R.R. 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. Pedobiologia 54: 309–320.

7- Arif M., Ali A., Umair M., Munsif F., Ali K., Inamullah M.S., and Ayub G. 2012. Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. Sarhad Journal Agriculture 28(2): 191-

195. (In Persian with English abstract)
8- Atkinson C.J., Fitzgerald J.D., and Hipps N.A. 2010 Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil 337: 1–18.
9- Bobojonov I., Berg E., Franz-Vasdeki J., Martius Ch., and Lamers John P.A. 2016. Income and irrigation water use efficiency under climate change: An application of spatial stochastic crop and water allocation model to Western Uzbekistan, Climate Risk Management, ISSN 2212-0963, Elsevier, Amsterdam [u.a.], 13: 19-30.
10- Bouman B.A.M., Lampayan R.M., and Tuong T.P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 54 p.
11- Bouman B.A.M., Peng S., Castaneda A.R., and Visperas R.M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management 74: 87-105.
12- Brantley K.E., Brye K.R., Savin M.C., and Longer D.E. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. Open Journal of Soil Science 5(01): 1.
13- Chaudhry U.K., Shahzad S., Naqqash M.N., Saboor A., Yaqoob S., Abbas M.S., and Saeed F. 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 9(1): 348-358.
14- Cornelissen G., Martinsen V., Shitumbanum V., Alling V., Gijs D., Breedveld G.D., Rutherford D.W., Sparrevik M., Hale S.E., Obia A., and Mulder A. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. Agronomy (3): 256-274.
15- Egamberdiyeva D., Juraeva D., Poberejskaya S., Myachina O., Teryuhova P., Seydalieva L. and Aliev A. 2004. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria. Proceedings of the 26th Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. Raleigh, North Carolina, June 8-9, P. 58-66.
16- Gebremedhin G.H., Haileselassie B., Berhe D., and Belay T. 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizers and Pesticides 6: 158-162.
17- Glab T., Palmowska J., Zaleski T., and Gondek K. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. Geoderma 281: 11-20.
18- Hua L., Lu Z., Ma H., and Jin S. 2014. Effect of biochar on carbon dioxide release, organic carbon accumulation, and aggregation of soil. Environmental Progress & Sustainable Energy 33(3): 941-946.
19- Ibrahim O.M., Bakry A.B., El Kramany M.F., and Elewa T.A. 2015. Evaluating the role of biochar application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. Global Journal of Advanced Resarch 2(2): 411-418.
20- IRRI, PhilRice, NIA and BASC. 2005. Aerobic Rice: A water-saving technology in development. www.irri.com.
21- Jvan J., and Fal Soleyman M. 2008. Water crisis and the need to pay attention to agricultural water productivity in dry areas Case Study: Birjand Plain, Geography, Development, Sh.
22- Karer J., Wimmer B., Zehetner F., Kloss S., and Soja G. 2013. Biochar application to temperate soils: effect on nutrient uptake and corn yield under field conditions. Agricultural and Food Science 22: 390-403.
23- Kheyri Shalamzari, K. And Borumabdsab, S. 2014. Effect of different levels of superabsorbent 200A on the physical and hydraulic properties of silty loam soil. Irrigation Science and Engineering, 36 (4): 63-71.
24- Kinney T.J., Masiello C.A., Dugan B., Hockaday W.C., Dean M.R., Zygourakis K., and Barnes R.T. 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. Biomass and Bioenergy 41: 34-43.
25- Lehmann J., and Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management- an Introduction. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). Biochar for Eenvironmental Management: Science and Technology. Earthscan, London, pp. 1–11.
26- Lehmann J., Cheng C. H., Thies J.E., Burton S.D., and Engelhard M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry 37: 1477-1488.
27- Lehmann J. 2007. Bio-Energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment 5: 381-387.
28- Liu X.H., Han F.P., and Zhang X.C. 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: results from incubation experiments, International Journal of Agriculture and Biology 14: 975–979.
29- Malekotti M.J., Ghayibi M.N. 2000. Determining the critical level of effective nutrients in soil, plants and fruits in order to increase the quality and quantity performance of strategic products of the country. second edition. Agricultural Education Publication. 92 p.
30- Martinsen V., Mulder J., Shitumbanuma V., Sparrevik M., Børresen T., and Cornelissen G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177: 681-695.
31- Nassiri M., and Niknejad Y. 2012. Causes of damage in rice fields. Publishing Ward 83 pages.
32- Pirdashti H. 2000. Study of the process of remobilization of dry matter, nitrogen and determination of growth indices of rice cultivars in different dates of masters dissertation. Tarbiat Modares University of Tehran. 158 pages.
33- Pirdashti H., Tahmasebi Sarvestani Z., Nematzadeh G., and Ismail A. 2004. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sept. 1 Oct, Brisbane, Australia.

34- Rezaei M., and Nahvi M. 2004. Effect of irrigation interval on rice yield. Proceedings of the Eleventh Irrigation and Drainage Conference, Tehran.
35- Roderick M., Florencia G.R., Rodriguez G.D.P., Lampayan R.M., and Bouman B.A.M. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. Food Policy 36(2): 280-288.
36- Schmidt M.W.I., and Noack A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges. Global Biogeochemical Cycles 14:777–793.
37- Sedaght N., Pirdashti H., Asadi R., and Mousavi Toghani S.I. 2014. The effect of irrigation methods on water productivity in rice. Journal of Water Research in Agriculture 28(1): 9-1. (In Persian with English abstract)
38- Smith J.L., Collins H. P., and Bailey V.L. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. Soil Biology Biochemistry 42: 2345-2347.
39- Sun Z., Bruun E.W., Arthur E., De Jonge L.W., Moldrup P., Hauggaard-Nielsen H., and Elsgaard L. 2014. Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. Biology and Fertility of Soils 50:1087-1097.
40- Tavakoli A. 2002. Low irrigation. Publication of Iran National Irrigation and Drainage Committee.
41- Topoliantz S., Ponge J.F., and Ballof S. 2007. Manioc peel and charcoal: A potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. Biology and Fertility of Soils 41: 15–21.
42- Uzoma K., Inoue M., Andry H., Fujimaki H., Zahoor A., and Nishihara E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use Manage 27: 205-212.
43- Van Zwieten L., S. Kimber S., Morris K., Chan A., Downie J., Rust S., Joseph and Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant. Soil 327: 235-246.
44- Wang Z., and Huang B. 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. Crop Science 44: 1729-1736 .
45- Warnock D.D., Mummeya D.L., McBride B., Major J., Lehmann J., and Rillig M.C. 2010. Influences of nonherbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. Applied Soil Ecology 46:450–456.
46- Yoshida S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Lagunna, Pilippines.
47- Yu O.Y., Raichle B., and Sink S. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. International Journal of Energy and Environmental Engineering 4(1): 44-52.
48- Zahir A.Z., Arshad M., Frankenberger W.T. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advance in Agronomy 81: 97–168.
49- Zhang A., L. Cui G., Pan L., Li Q., Hussain X., Zhang J., Zheng and D. Crowley., 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. Agriculture Ecos. Environment 139: 469-475.
50- Zhang A., Liu Y., Pan G., Hussain Q., Li L., Zheng J., and Zhang X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions froma soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant Soil 351: 263-275.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 5, Nov.-Dec. 2020, p. 1003-1018

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۹، ص. ۱۰۱۸-۱۰۰۳

Effect of Biochar and *Azosprillum lipoferum bacteria* on Yield and Water Use Efficiency Indices of Tarom Hashemi Rice Cultivar under Flooded and Alternation Irrigation Regimes

M. Kaveh[1]- M.A. Esmaeili[2]*- H. Pirdashti[3]- M.R. Ardakani[4]
Received: 08-07-2019
Accepted: 10-03-2020

Introduction: Rice is a staple food source and the most important grain in developing countries, which is most commonly consumed by more than 90 percent of the world populations. Moreover, this plant is produced and consumed in Asia. However this major crop faces severe limitations such as water scarcity and other environmental stresses. Limited water resources along with climate change effects, have increased attention to methods which improve water use efficiency in crops such as rice cultivation. On the other hand, traditional irrigation methods for rice production often waste considerable fraction of irrigation water. Therefore, it is necessary to modify irrigation and other farming methods. Furthermore, using biochar and nitrogen fixing bacteria as organic biofertilizers can be effective methods to improve water use efficiency and yield attributes of rice plant. Therefore, the present research was conducted to investigate the effect of biochar and *Azosprillum lipoferum* rhizobacteria on yield and water use efficiency on Tarom Hashemi rice cultivar of under flooded and alternating irrigation regimes.

Materials and Methods: This study was conducted at the research fields of the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2017 and 2018. The experimental site is located at 36º 39′42″ N latitude and 53º03′54″ E longitude with -11 m above sea level. Soil samples were taken from depths of 0-30 cm before land preparation. The experiment was done in factorial split-split plot arrangement with complete randomized blocks based design with three replications. Treatments included two irrigation management methods (flooding and irrigation regimes) in combination with nine fertilizers levels (100% of recommended nitrogen or N100, N100+ 10 ton biochar or biochar 10, N100+ biochar 20, N75, N75+ biochar 10, N100+ biochar 20, N50, n50+ biochar 10 and N100+ biochar 20) as main plots and seedling inoculation with *Azospirillum lipoferum bacteria* (without inoculation was also included as control) as sub plots. Plot ridges were covered by plastic sheets and inserted into the soil at 50 cm to prevent water flowing from one plot to the others. The plots were then leveled and 3-4 leaf seedlings stage. A specific number of seedlings were gently washed and placed for 30 minutes in a pan containing 10 L of water mixed with 1 L of bacterial inoculum. Carboxymethyl cellulose, 15 g, was added to increase adhesion of bacteria into the plant roots. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers were applied according to the results of soil analysis. Weeds and pests were controlled mechanically or by hand and no herbicides or pesticides were used.

Results and Discussion: Results showed that biochar and nitrogen fertilizers, irrigation methods, and seedling inoculation with bacteria had significant effects on water use efficiency indices. Comparison of means of interaction effects showed that the highest paddy yield (5950.43 and 5330.78 kg/ha, respectively) were observed by flooding irrigation method in combination with N50 + biochar 20 treatment and inoculated by *Azospirillum lipoferum* bacteria and alternating irrigation management method which was along with N50 + biochar 20 without inoculation. Alternating irrigation plots experienced water shortage in some growth stages and therefore slightly lower paddy yield is acceptable. Application of biochar 20 and flooding or alternating methods which treated by N75 and N50, respectively showed 49.1% increase in economic efficiency index.

Conclusion: In general, application of 20 ton biachar along with 75% nitrogen fertilizers led to 42.8% increase in economic advantages in alternating irrigation method as compared to the flooding systems. These observation indicates beneficial effect of fertilizer in economic advantage enhancement in rice cultivation.

---

1 and 2- Ph.D. Student of Agronomy and Associate Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: esmaeilim550@gmail.com)
3 - Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Professor of Agronomy, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran
DOI: 10.22067/jsw.v34i5.81493

Keywords: Biochar, *Azospirillum lipoferum*, Water use efficiency index, Rice